

機械情報技術学科におけるエンジニアリング・デザインの知識取得科目と実践科目への提案

鈴木 寛[†]

The Subject for Knowledge Acquisition of Engineering Design and Proposal to the Subject for Engineering Design Practice in Department of Mechanical Engineering

Hiroshi SUZUKI[†]

ABSTRACT

In this paper, conceptual design of engineering design was outlined first referring to the textbook published in the USA and the internet home page of Florida A&M University. The outlines and 'Kikai Souzou', which is the subject for knowledge acquisition of engineering design in Department of Mechanical Engineering, were compared, and insufficient parts, for example, a morphological chart, in 'Kikai Souzou' were shown. Next, the analysis results of participants' answers to some exercises executed in 'Kikai Souzou' were described. Tendencies of the answers, and matters should be considered and improved, etc., were mentioned. Finally, the application of the morphological chart and a decision matrices to the conceptual design of the robot design in 'Design and Manufacturing Original Robot', which is the subject for practice of engineering design in the department, was proposed.

Key Words: *engineering design, subject for knowledge acquisition, subject for practice of engineering design, department of mechanical engineering*

キーワード: エンジニアリング・デザイン, 知識取得科目, 実践科目, 機械情報技術学科

1. 緒 言

文献1)は、合衆国におけるエンジニアリング・デザイン教育について紹介している。文献1)によれば、合衆国の認定組織ABET(Accreditation Board for Engineering and Technology)の認定プログラムでは、1年次において、エンジニアリングについての入門科目が必須科目として配され、4年次には、

卒業研究とは別に、エンジニアリング・デザイン系科目が設定されている。1年次における科目は本学の導入転換科目に相当する。4年次についてももう少し述べれば、エンジニアリング・デザイン系科目として、エンジニアリング・デザインについての知識取得科目およびエンジニアリング・デザイン実践科目の2つの科目、またはその合同科目がカリキュラム上に配されている。合衆国においては、エンジニアリング・デザイン系科目の講義のための教科書も数多く出版されている。文献1)は4冊の教科書を紹介しており、

平成24年1月6日受理

[†] 工学部機械情報技術学科・教授

その中の2冊は機械工学系学科向けである^{2),3)}。ただし、文献2)は著者が購入した新しい版である。

また、多くの大学のホームページでエンジニアリング・デザイン教育の実践例を紹介している⁹⁾。

ところが、エンジニアリング・デザイン教育が日本において浸透していないため、エンジニアリング・デザイン教育を系統的行っている大学は数少なく、エンジニアリング・デザインと銘打った教科書は文献4)に示した訳本1冊だけである。文献4)の訳者が文献6)のワークショップで「体系化した教科書を書きたい。」と述べていることから推察して、日本においてエンジニアリング・デザインは体系的に教授されてこなかったともいえる。

本学機械情報技術学科においては、文献2)を基礎とし、文献3)や文献4)を参考にして、2010年度より2年次前期に開講されている科目「機械創造」の中で、エンジニアリング・デザイン知識取得のための教育を開始した。本稿においては、最初に、著者が講義を行うにあたって参考とした文献2)や合衆国フロリダA&M大学ホームページに掲載されたエンジニアリング・デザイン実践科目の例⁹⁾と対比させながら、エンジニアリング・デザインの流れと「機械創造」での課題の対応を示した。次に、「機械創造」の中で実施しているいくつかの演習課題の受講者の回答の分析から、その傾向、考慮すべきあるいは改善すべき事項を示した。最後に、機械情報技術学科におけるエンジニアリング・デザイン実践科目「ロボット創作」の概念設計部分への提案を行った。

2. エンジニアリング・デザインの流れと「機械創造」での課題の対応

Table 1に文献2)に示されたエンジニアリング・デザインの流れと各ステップでの重要事項を、Table 2に合衆国フロリダA&M大学ホームページに掲載されたエンジニアリング・デザイン実践科目の例の項目⁹⁾を示した。Table 1やTable 2に示

Table 1 文献2)に示されたエンジニアリング・デザインの流れと各ステップでの重要事項

1.	問題の定義
(1)	問題宣言文
(2)	ベンチマーキング
(3)	品質機能展開(QFD)
(4)	製品設計仕様書(PDS)
(5)	プロジェクト立案
2.	情報収集
(1)	インターネット
(2)	特許
(3)	営業用文献
3.	コンセプト生成
(1)	ブレインストーミング
(2)	機能的分解
(3)	形態学的チャート
4.	コンセプトの評価
(1)	Pugh のコンセプト選択
(2)	決定マトリクス
5.	製品アーキテクチャ
(1)	機能を発揮するための物理的な要素の配置
6.	形状設計
(1)	予備的な素材と製造方法の選択
(2)	部品のモデリングとサイジング
7.	パラメトリック設計
(1)	ロバスト設計
(2)	許容範囲
(3)	最終的な寸法
(4)	製造性考慮設計(DFA)
8.	詳細設計
(1)	詳細な図面と仕様書

Table 2 フロリダ A&M 大学ホームページに掲載されたエンジニアリング・デザイン実践科目の例の項目⁹⁾

1.	ニーズの明確化
2.	市場調査
3.	性能仕様
4.	機能的分析
5.	形態学的チャートとコンセプト生成
6.	コンセプト選別
7.	解析と選択
8.	詳細設計
9.	プロトタイピングとテスト
10.	生産
11.	マーケティング

した用語は、文献2)および5)に示された文言を著者が日本語訳したものであり、日本語で使われる用語の概念とは少し異なるかもしれない。文

献2)は、製品設計は、大きく分けて概念設計、実態設計、詳細設計の3つの段階から構成されることを示している。Table 1では、概念設計が1～4に、実態設計が5～7に該当する。フロリダA&M大学ホームページに掲載された例では、1～6が概念設計に、7が実態設計に相当する。

Table 1に示したエンジニアリング・デザインの各ステップでの重要事項と合衆国フロリダA&M大学ホームページに掲載されたエンジニアリング・デザイン実践科目の例には共通する部分も多い。Table 2の「3. 性能仕様」には簡単な仕様書と品質機能展開(QFD: Quality Function Deployment)⁷⁾の例が示されており、Table 1の「1. 問題の定義」の(3)や(4)と同じ事項を扱っている。Table 2の「4. 機能的分析」や「5. 形態学的チャートとコンセプト生成」は、Table 1の「3. コンセプト生成」の「(2) 機能的分解」や「(3) 形態学的チャート」とそれぞれ同様の事項を扱っている。Table 2の「6. コンセプト選別」の例はTable 1の「4. コンセプトの評価」の「(2) 決定マトリクス」に相当する例を示している。これは余談であるが、フロリダA&M大学ホームページに掲載された例では、「7. 解析と選択」と「8. 詳細設計」を本学にも導入されている3次元CADソフトウェアPro/ENGINEERを使用して行っている。

最終案の決定までのエンジニアリング・デザインの流れをTable 1とTable 2の共通部分を考慮して概説すると、① 様々な手段を使ってニーズを探る、② 顧客の要求と工学的特性を関係付けて、重要な工学的特性を明確にするために品質機能展開を行う、③ 製品設計仕様書を作成する、④ 製品を機能的に分解する、⑤ 分解された各部分についてコンセプトを出し、形態学的チャートにまとめ、コンセプトを組み合わせ、いくつかのデザインコンセプトを作る、⑥ デザインコンセプトの候補の中から、決定マトリクスを使って最終案を決定する、となる。

Table 3に2011年度に実施した「機械創造」の各回の講義タイトルと演習課題を示す。「機械創造」は文献2)に準拠しており、Table 1に示した流れに近い。3の(1)と4の(1)の演習課題は、上記①

Table 3 「機械創造」の各回の講義タイトルと演習課題

1.	プロダクトデザイン過程の概要
2.	プロダクトデザイン過程のための組織、コードなどと演習 <ul style="list-style-type: none"> (1) 自動車のモデルサイクルの推定<静的な商品の例> (2) 携帯電話のモデルサイクルの推定<動的な商品の例>
3.	プロダクトデザインのためのニーズ同定 <ul style="list-style-type: none"> (1) 大学売店で販売するオリジナル商品の選定とアンケート用紙の作成練習
4.	プロダクトデザインのための問題定義(QFDとPDS) <ul style="list-style-type: none"> (1) 主婦のフォーカス・グループから得られたコメントの工学的特性への翻訳 (2) 掃除機改良にあたっての「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係の決定
5.	チームの構成とブレインストーミング <ul style="list-style-type: none"> (1) ブレインストーミングの初回練習
6.	ブレインストーミングと親和図法に関する演習 <ul style="list-style-type: none"> (1) ブレインストーミングを使ったワイパー改善案の作成
7.	「なぜなぜダイアグラム」, 「ハウハウダイアグラム」等ツリー構造の解析の解説と演習 <ul style="list-style-type: none"> (1) 「便利で、安全で、魅力的」な広域公共交通システムのツリー構造の解析による目標の設定
8.	問題分解とアイデアの探検 <ul style="list-style-type: none"> (1) SCAMPER法に基づくロボット創作で作製されたロボットの自走部分の改善案の作成
9.	概念的な分解 <ul style="list-style-type: none"> (1) チョロQの実際の分解 (2) チョロQの物理的分解のチャートと概念的分解のチャートの作成
10.	デザインコンセプトの作成と評価方法
11.	評価方法の演習 <ul style="list-style-type: none"> (1) Pughマトリクスを使用したロボット創作で作製されたロボットの評価
12.	コンフィギュレーション設計, パラメトリック設計 <ul style="list-style-type: none"> (1) ロボット創作で作製されたロボットの自立自走システムのブロック図の作成
13.	ヒューマン・ファクタの演習 <ul style="list-style-type: none"> (1) Bad Human Factors Designs 掲載の悪いデザインの例の改善提案
14.	前年度ロボット創作で作製されたロボットの分解

の一手法としてのアンケートを作成する演習と、得られたニーズの解釈の演習である。4の(2)の演

習課題は、②の品質機能展開の第一歩である。9の(2)は④の機能的分解の演習であり、11の(1)に示したように、⑥の決定マトリクスを使ってデザイン案を評価する演習も行っている。「機械創造」では③の製品設計仕様書や⑤の形態学的チャートからいくつかのデザインコンセプトを作ることにについて講義は行うものの、演習課題は課していない。

概念設計の段階では、設計する商品の特性を理解する能力、抽象的な課題から具体的な目標を設定する能力、個人でアイデアを出す能力、チームで連携してアイデアを出す能力等が必要とされる。そこで、Table 3に示したように、2の(1)および(2)、7の(1)、8の(1)、6の(1)の演習課題を設定した。

12のコンフィギュレーション設計では、通常ブロック図などを基に要素の配置を決めていくが、(1)は逆に製品からブロック図を作成する問題となっている。13の(1)は、ヒューマン・ファクタの演習課題であると同時に、個人でアイデアを出す能力の育成も兼ねている。

このように、「機械創造」は知識取得科目としてエンジニアリング・デザインの概念設計の部分を十分カバーしているが、製品設計仕様書の作成や、形態学的チャートからいくつかのデザインコンセプトを作ることにについての演習課題など、実施しなければいけない課題も多い。

3. 演習課題の実施と問題

3.1 主婦のフォーカス・グループから得られたコメントの工学的特性への翻訳

商品を開発するにあたっては、様々な方法でニーズを探る。しかし、そこで得られた情報をそのまま商品に反映させることはできない。Table 3に示した「主婦のフォーカス・グループから得られたコメントの工学的特性への翻訳」の演習課題は、顧客の要求をエンジニアの言葉に置き換える問題である。商品制作者の立場に立って物事を考える最初の問題といえる。Table

Table 4 洗濯バサミについて顧客から得られた7つの要求と受講者からの回答の上位3項目

要求1	それはしっかり握る必要がある。 ① 指が接する部分の形状変更(44.6%), ② 同部分サイズ変更(21.7%), ③ 同部分材質変更(19.3%), その他(14.5%)
要求2	私には関節炎がある。 ① 弱いバネの使用(21.3%), ② 機構の変更(20.0%), ③ 指が接する部分の形状変更(12.0%), その他(46.7%)
要求3	開閉が大変過ぎてはいけない。 ① 適正なバネの使用(34.2%), ② モーメントの増加(31.6%), ③ 機構の変更(17.1%), その他(17.1%)
要求4	脱衣籠でもつれる洗濯バサミが好きでない。 ① 丸くする・表面を滑らかにする(58.9%), ② 勘違い(11.0%), ③ サイズの変更(8.2%), その他(21.9%)
要求5	衣服に染みや汚れを付けないほうがよい。 ① 洗濯物との接触面積を小さくする等(24.7%), ② 汚れを付けない、落としやすい形状・材質に変更(23.3%), ③ 錆ない材質に変更(17.8%), その他(34.2%)
要求6	その価格なら、それらは長い間持ちこたえるほうがよい。 ① 耐久性向上のために材質変更(35.6%), ② 強度向上のために材質変更(26.0%), ③ その他材質変更(24.7%), その他(13.7%)
要求7	長い使用の後にみずばらしく見えて欲しくない。 ① 耐久性のある素材を使用する(洗剤・紫外線による劣化・色あせ、傷)(42.2%), ② コーティング(20.5%), ③ デザインの工夫(19.3%), その他(18.1%)

4に、洗濯バサミについて顧客から得られた7つの要求と受講者からの回答の上位3項目を示した。この課題は文献2)に示された問題を日本語訳して出題している。

2010年度の反省を踏まえ、演習課題を提示するにあたって、それぞれの要求について不可とする回答例を提示している。たとえば、要求2については、「使用者にやさしい設計」、「病があってもだれでも使える」、「関節への負担をかけないように作る」は不可としている。不可の例を示さないと、受講者は深く考えずに単なる言葉の言い換えや大きな方針を記述することが

多い。

Table 4に示したように、要求1, 要求3, 要求6および要求7のように、比較的理解し対処しやすい顧客の要求については、受講者からの回答の上位3項目の割合の合計が80%を超えた。ただし、要求6での受講者の回答の多くは要求にある価格の事項に対応していない。材質の変更はコスト上昇を招きかねない。

これに対して、要求2, 要求4, 要求5は、受講者にとって、工学的特性に翻訳するにややハードルが高いようである。要求2では、予め不可とする例を示しているにも関わらず、不可の範囲に入る回答が13.3%を占めた。また、著者には記述内容を理解できない回答が12.0%あった。関節炎についての理解の欠如も工学特性への翻訳を阻む一因であろう。とはいえ、経験したことのないことについて想像するよい機会になったのではない。

要求4では、明らかに洗濯バサミと物干しハンガーを区別できていない回答が11.0%あった。他にも洗濯バサミと物干しハンガーを区別しないまま回答している受講者もいるであろう。受講者が対象について理解できると出題者が思っている、そうとは限らないよい例であろう。

要求5に対する受講者の回答を、著者は5項目に分類した。さらにこれに入らない回答が12.3%あった。問題のハードルが高くなると回答の種類が多くなるよい例である。回答を読んでいて、受講者が要求に書かれた「染みや汚れ」を洗濯バサミの材料に起因する染みあるいは洗濯バサミにたまった汚れとしか考えていないことが気になった。顧客は的確な言葉で話してくれるとは限らない。洗濯バサミが挟んだ部分の跡もこの要求の「染みや汚れ」に含まれる可能性があることに気付いた学生は存在しない。

以上まとめると、受講者の回答は、比較的理解し対処しやすい顧客の要求については方向性が揃い、ハードルが高くなると多様になる傾向があるといえる。また、受講者に他人の視点で考え的確な回答を導かせることや、常にコストについて意識させることなど、今後取り組まな

ければいけない問題も多い。

3.2 掃除機改良にあたっての「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係の決定

品質機能展開は、重要な品質特性を導き出すための開発設計の方法論として定着している⁸⁾。最初に「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係を表すマトリクスを作成する。いわゆる品質の家を作成するのである。その後、「顧客の要求」の重みベクトルとこのマトリクスの掛け算から「工学的特性」の重要度の算出する。

「機械創造」では、文献8)に掲載されていた掃除機改良にあたっての「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係を演習課題としている。文献8)では、「顧客の要求」として、「排気が気にならない」、「何でも吸う」、「静かに掃除ができる」、「ゴミ捨てが楽」、「狭いところの掃除ができる」、「フローリングがきれいになる」、「本体の追従性が良い」、「部屋の隅のゴミが取れる」、「床面以外でも掃除ができる」、「楽に掃除ができる」、「吸引仕事率が高い」、「床ブラシを軽く動かせる」の12項目を挙げている。「工学的特性」として、「吸引仕事率(W)」、「本体質量(kg)」、「標準質量(kg)」、「本体体積(m³)」、「床ブラシ質量(kg)」、「床ブラシ体積(m³)」、「ワンタッチゴミ捨て」、「磨き度(回)」、「車輪の材質」、「捕集効率(%)」、「騒音(dB)」、「本体走行荷重(N)」、「床ブラシ走行荷重(N)」、「乗り越し荷重(N)」の14項目を選択している。したがって、マトリクスの要素は全部で168となる。文献8)では、この中の26の要素に関係の強さを表す数値が記入されている。

「機械創造」では、受講者に文献8)に示された掃除機改良にあたっての「顧客の要求」と「工学的特性」の各項目が記載されたマトリクスの表を配布して、「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係を記入させた。講義終了後これを回収して、文献8)に掲載された対応関係を模範解答として、これとの一致を確認した。ただし、関係付けには1, 6, 9の3段階の強さを用いるが、

模範解答との一致の確認にあたっては、この強さを無視した。この確認結果から、受講者ごとに26の正解に対応関係を記入した割合(以下、模範解答との一致の割合と呼ぶ)を求めた。さらに、受講者のマトリックスの要素への記入数と模範解答での記載数26の比(以後、記入率と呼ぶ)の平均値も計算した。受講者71名の回答について、模範解答との一致の割合の平均値は68.0%、記入率の平均値は175.4%であった。この2つの数値から、受講者の記入箇所が正解である確率(以後、正解率と呼ぶ)が計算できて、その値は38.8%であった。

Fig. 1に受講者ごとの模範解答との一致の割合と記入率の関係を示した。正解率25%、50%、75%および100%の直線も破線で図に併せ示した。記入率が高くなると模範解答との一致の割合が高くなり、また、記入率が上昇するに従って正解率が低下する傾向にあるのは当然である。日常生活で掃除機に接しているとはいえ、短い講義時間の中で、上記「顧客の要求」の項目と「工学的特性」の項目の内容を正しく理解するには、ある程度の訓練を要するであろう。この演習課題がその一歩となることを期待している。

しかしながら、Fig. 1に示しように記入率が200%を超える受講者も多く存在することは問題である。あれもこれも関係があると判断してマトリックスに記入すると、かえって「顧客の要

求」と「工学的特性」の関係が不明確になる。この問題についての記入数の範囲の提示と、見直しの励行は行わなければいけないであろう。

文献5)にもあるように、合衆国の大学のエンジニアリング・デザインに関係するホームページには、品質機能展開の一部である品質の家を用いた「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係の図が掲載されていることが多い。合衆国ではエンジニアリング・デザインの教育の中に品質の家を用いた解析を盛り込むことが要求されているのかもしれない。しかし、Fig. 1にまとめた本学科の「機械創造」の講義での受講者の回答や文献5)に示された解析結果を見ると、この結果を用いて何がしかの決定を行い、次のステップに進むことは危険であると考えられる。本学科のこの講義の中での回答の正解率は4割に届かない。また、文献5)に示された解析結果では、全てのマトリックスに対応関係の強さを表す数値が記入されている。大学生は経験に乏しく、全ての受講者が判断に利用できる品質の家を作成できるとはかぎらない。エンジニアリング・デザイン実践科目の中で作成する品質の家を用いた「顧客の要求」と「工学的特性」の対応関係の利用は、あくまで問題の整理に用いる程度にとどめるべきではないだろうか。

以上まとめると、品質機能展開の一部である品質の家を用いた解析の実践は、エンジニアリング・デザイン教育の中で重要ではあるが、「顧客の要求」と「工学的特性」の関係の整理のみに使用して、それを用いた次のステップへの移行は危険であろうといえる。

3.3 課題を解決するためのアイデアを個人またはグループで考える演習

「機械創造」の中では課題を解決するためのアイデアを個人またはグループで考える練習を行っている。その中には予め提示すべきアイデアの個数を定めておき、定められた個数のアイデアを提示できたら終了とする演習課題がある。Table 3に示した8の「SCAMPER法⁹⁾に基づくロボット創作で作製されたロボットの自走

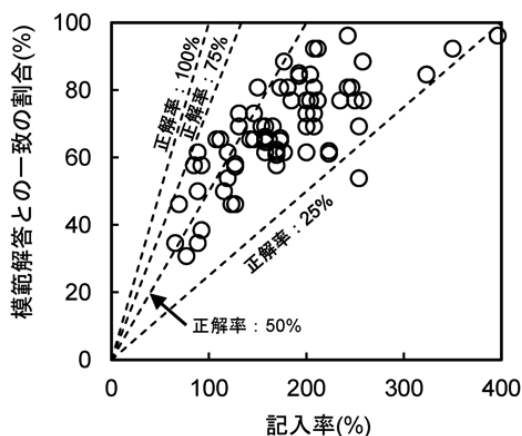


Fig.1 模範解答との一致の割合と記入率の関係

部分の改善案の作成」では受講者個人に20個のアイデアを求めており、6の「ブレーンストーミングを使ったワイパー改善案の作成」では4名程度で構成された各グループに30個のアイデアを求めている。

機械情報技術学科では3年生が講義の中で所定の課題に対処するためのロボットを設計・製作する¹⁰⁾。課題の一つが、コンピュータ・メモリに記憶されたデータのみで障害物を避けながらコースを進むことである。この課題でつまづくロボットも多い。第8回の講義では、受講者に最初に課題をクリアした例や上手くいかなかった例の映像を10ほど見せる。その後この課題を解決するためのアイデアを、SCAMPER法を使って考えてもらう。約40分の制限時間の中でアイデア数が20に達すれば終了となる。

2011年度の講義では受講者73名から約1,230のアイデアが得られた。出されたアイデアを著者なりに分類し、分類項目ごとの割合をFig. 2に示した。このような分類を行っても問題点は見えてこないかもしれない。しかし、受講者の志向を把握する上でも、一度はこのような分類を行うべきであろう。

先にも述べたように、講義では行き詰まりを打破するために、SCAMPER法の変化オペレータを受講者に提示している。しかし、受講者が考えたアイデアを確認しても、アイデアを出すにあたってSCAMPER法の変化オペレータが役に立っているかは不明であった。Fig. 2にある「他の活用」はSCAMPER法の変化オペレータに影響され出されたアイデアだと考えられるが、このように明確な変化オペレータの活用例は数少ない。

Fig. 3に制限時間内に受講者により出されたアイデアの個数と回答者の割合を示す。定められた20個のアイデアを出した受講者は全体の65.8%であった。アイデアの質はともかく、この講義では量を出す練習を行っており、受講者にとって目標となる適切な数を設定できた。一方、9個以下のアイデアしか出せなかった受講者の割合は12.3%であった。定められた数のアイデ

アを出した受講者が6割を超えているので、課題のレベルは適当であろう。ただし、アイデアを出すことが得意でない受講者が少なからず存在することは確かである。

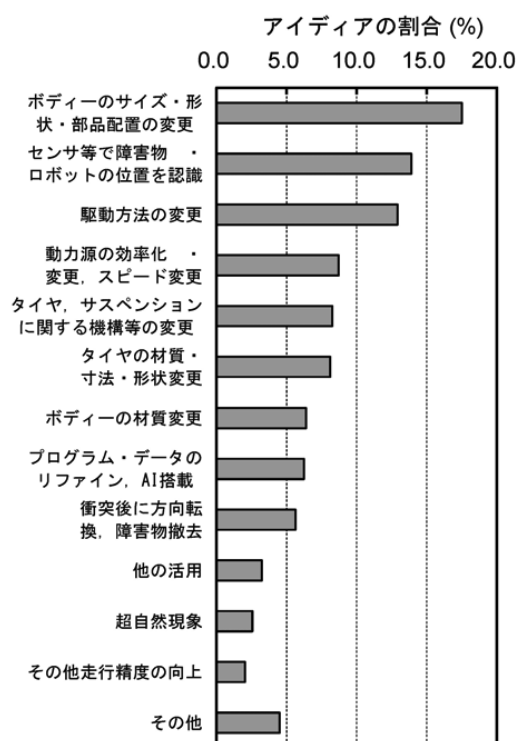


Fig. 2 ロボットの自走部分の改善案の分類

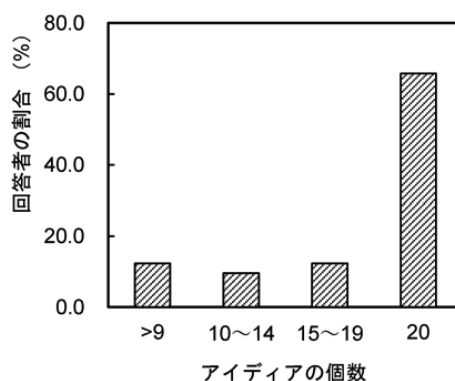


Fig. 3 アイデアの個数と回答者の割合

第6回には「ブレインストーミングを使ったワイパー改善案の作成」を構成員が4名程度のグループで実施している。具体的問題については文献11)を参照されたい。この課題に対してグループが出さなければいけないアイデアの数を30個としている。多くのグループがアイデア数30個を達成するために真剣に取り組んだ。30個という数の設定は適切だったと考えている。

2011年度は、行き詰まりを打破するために、SCAMPER法とほぼ同様の变化オペレータを受講者に提示した。2010年度は6つの变化オペレータを提示して、それぞれの変化オペレータについてアイデアを出させた。变化オペレータは、「形状、機構の変更」、「拡大、縮小、増加、減少」、「材質変更」、「熱、空気(物理現象)の利用」、「配置の変更」、「ワイパーを使用しない」である。2010年度に用いた6つの变化オペレータごとに2010年度および2011年度に受講者により出されたアイデアを分類した。結果をFig. 4に示した。出されるアイデア数の定めていなかった2010年度のアイデア数の合計が139個、アイデア数を30個と定めた2011年度のアイデアの合計が600個とアイデア数にも大きな差がある。結果の分類に用いた各変化オペレータに

ついてアイデアを出した2010年度は分類ごとにほぼ同数のアイデアが出されているのに対し、SCAMPER法とほぼ同様の变化オペレータを提示した2011年度は、その傾向が見られない。また、2011年度の結果からワイパーを使用しないとといった突飛なアイデアは、变化オペレータを提示しないと出にくいこともわかる。

先にアイデアを出すことが得意でない受講者が少なからず存在することを述べた。これは著者の科目の受講者だけのことではなく、他大学の教員が講師となった講習会でも聞かれたことである。個人でアイデアを出している段階では、アイデアに乏しいことは本人だけの問題であるが、数名で構成されたグループでのアイデアに乏しい人の存在はグループの力を弱める。また、アイデアに乏しい人が複数存在する場合は、他の構成員の負担が大きくなる。

そこで、グループ内でアイデアに乏しい人の存在確率を見積もった。80名の受講者から4名選んだときにアイデアに乏しい人が0名、1名、2名、3名、4名のそれぞれとなる確率を計算した。アイデアに乏しい受講者が全体の5%、10%、15%および20%存在するとしたときの結果をFig. 5に示した。アイデアに乏しい受講者が全体の

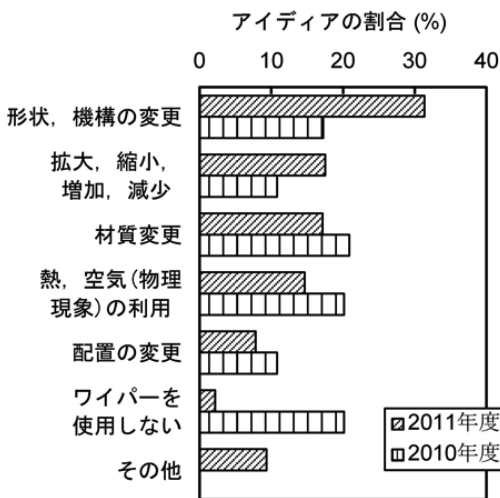


Fig. 4 ワイパー改善のアイデアの分類

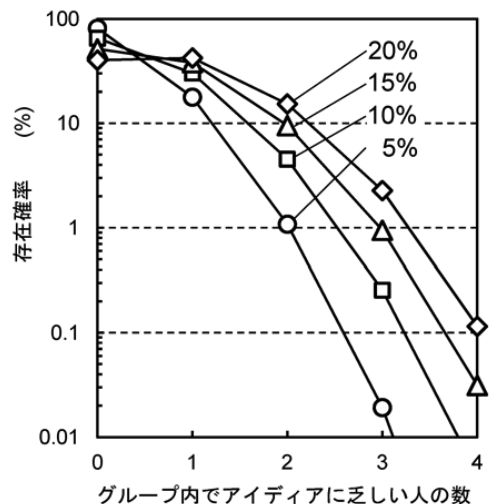


Fig. 5 アイデアに乏しい人の存在確率

20%となったとしても、4名全員がアイデアに乏しい確率は0.12%と、ほとんど生じないことがわかる。ただし、アイデアに乏しい受講者が全体の20%存在すると、4名の構成員の3名までもがアイデアに乏しい確率は2.3%と無視できない数値となる。毎年20グループで講義を行うと、約2年に1名の割合でこのような悲劇的な受講者が出てしまうことになる。これを防ぐためには、グループの構成員をランダムに選ぶといったことは行うべきでなく、受講者の能力をある程度均等化する工夫が必要であるといえる。

以上まとめると、受講者にアイデア出しの練習を行わせるときにはアイデア数を設定して行うことは有効であるといえる。ただし、必ずしもアイデアを出すことが得意でない受講者が少なからず存在することを認識すべきである。アイデアを出す作業をグループで行わせるときには、グループごとに構成員の能力をある程度均等化する工夫が必要である。

3.4 体系的に物事を整理して考える演習

決定木、なぜなぜダイアグラム、ハウハウダイアグラムに代表されるツリー構造の解析は、物事の原因や解決策を体系的に整理して捉える上で有効な手法といえる。「機械創造」では、体系的に物事を整理して考えることを目的に、Table 3に示したように、文献4)を参考にして、『「便利で、安全で、魅力的」な広域公共交通システムのツリー構造の解析による目標の設定』という演習課題を受講者に出题している¹⁾。演習課題では受講者により身近な問題と捉えてもらうために、本八戸駅と階上町役場を結ぶ路面電車またはモノレールを広域公共交通システムとしている。文献4)では、解析例の一番下の段には具体的な目標が示されている。

受講者をほぼ4名のグループに分け、20のグループにツリー構造を作成させ、文献4)に示された目標が受講者の解析結果に記載されている割合を求めた。ただし、文献4)に述べられた一番下の段の目標がより具体的な場合は、必ずしも受講者の回答と一致するとは限らない。そこで、

「便利」については「駅のアクセスがよい」、「運転間隔が短い」、「高速の車両」、「遅れ発生確率が小さい」、「適切な価格政策」の5つ、「安全」については、「事故時の緊急活動が素早く行われる」、「事故あたりの障害発生が少ない」、「事故が少ない」の3つ、「魅力的」については「快適」、「低騒音」、「洗練されたデザイン」の3つに関係する解析結果が記載されていることを確認した。

結果をFig. 6に示した。「運転間隔が短い」、「適切な価格政策」、「事故が少ない」の3つの項目は記載率が80%と高い。利用者から見て、待ち時間が少なく、安い料金で利用でき、事故が少ない広域公共交通システムを望むのは当然であろう。また、文献4)には記載のない事項、例えば、身障者対策等「ホームへのアクセスが容易」について75%、「痴漢・車内犯罪防止」につ

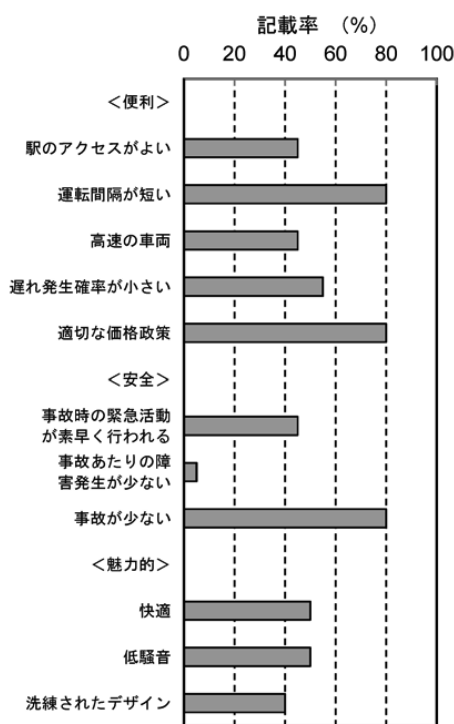


Fig. 6 「便利で、安全で、魅力的」な広域公共交通システムのツリー構造の解析における受講者の回答のまとめ

いて55%のグループが記載している。利用者としての経験の中で不便や問題を感じた事項に関しては記載率が高い。

これに対し、「駅のアクセスがよい」、「高速の車両」、「事故時の緊急活動が素早く行われる」、「事故あたりの障害発生が少ない」および魅力的に関する3項目は、記載率が50%以下となっている。これらには、受講者の記載率が高い項目に比べて、計画・設計段階から対策が立てられなければいけない項目が多い。具体的な例を出して、様々な視点から考えるよう指導は行っているが、制作者の視点で物事を考えることは十分できているとはいえない。

以上のように、多くの受講者は利用者の立場に立って物事を考えることはできる。参考とした文献に記載がなく、しかも重要であると考えられる事項を多くの受講者が指摘したことなどはその表れであろう。しかし、実務に十分な経験がないことが影響して、ここに示した演習課題について、制作者の立場に立って、あるいは体系的に物事を考えることができなかったと考えられる。

3.5 提出された回答が他人が書いた回答と同一である問題

「機械創造」では、Table 3に示した演習課題の中で、2, 3, 4, 8, 9, 11, 12および13の8回では、受講者が個人で回答を作成する。その中の6回はMS-Wordを使って回答を作る。また、残りの2回では図を手書きで描く。MS-Wordを使って作成した回答をプリンタで印刷し、担当教員またはティーチング・アシスタントの確認を受け、可となったら提出となる。残念なことにこの提出方法では、他人の回答に自分の氏名を書き加えるだけで、たちどころに回答ができ上がってしまう。

プリンタで印刷された回答をスキャナで読み込み、印刷された文字をコンピュータで編集できる形式に変換した。6回の演習のそれぞれの回では、短い文、または語句を答える問題が多い。得られたデータを回答者ごとに区切ってエクセ

ルに張り付けソートして、同一の回答の存在を確認した。

Table 3に示した3, 8, 9, 11および13の問題に関する回答では、同一の回答は少なかった。3は日常生活と結びつきが強い問題であり、8, 9, 11は簡単な機構を持った機械の問題、13は受講者が楽しみながら答えることができる問題といえる。

同一の回答が多かったのは、2の「自動車のモデルサイクルの推定<静的な商品の例>」、4の「主婦のフォーカス・グループから得られたコメントの工学的特性への翻訳」、12の「ロボット創作で作製されたロボットの自立自走システムのブロック図の作成」であった。これまで受講者が経験したことのない問題も多く、問題の難易度が高くなると同一回答が増えるのであろう。12は電気回路に関する問題であり、機械系の受講者には難しかったのかもしれない。

同一回答数は、出題された課題には取り組むが、難しくなるとつい他人の回答を写してしまうというレベルではあるが、この数を少なくする努力はすべきである。同一回答が見つかったときの減点方法について明確に定めて、初回講義のときにきちんと説明する必要があるであろう。

チェック方法の効率化も課題である。確認の多くの部分に手作業が入った。これは、紙ベースで回答を提出させたことに起因するものである。幸い、著者が勤務する大学にはネットワークを用いたアンケート回収システムがある。これを用いれば手作業で行っていた作業の多くを省略でき、より効率的に同一回答を見つけだすことができる。ただし、同一回答提出を抑止することが目的であるので、アンケート回収システムを使用する目的の説明も必要であろう。

手書きの回答のチェックにはなお課題が残る。ただし、第12回の「ロボット創作で作製されたロボットの自立自走システムのブロック図の作成」で出された回答については、ポイントを決めて分類することにより、80名の回答を1時間ほどで分類でき、同一回答を見つけだすことができた。ブロック図に記載されるいくつかの構成

要素にラインマーカーで印を付けておき、構成要素の配置で分類するのである。現状ではこれ以上の効率化は見いだせていない。

以上をまとめると、日常生活と結びつきが強い問題や専門分野に近い比較的やさしい問題では同一回答は少なかった。これに対して、これまで受講者が経験したことの無い問題では同一回答が増える傾向にあった。健全に講義を運営するためには、同一回答の提出の抑止力となる方法の導入が必要となるといった。

4. エンジニアリング・デザイン実践科目 「ロボット創作」への提案

4.1 「ロボット創作」の概要

機械情報技術学科では、3年前期に開講される「機械工作実習」¹²⁾の最後の4回の講義時間と3年後期に開講される「ロボット創作」¹³⁾の中で、ロボットの設計、製作、競技会を実施している。ロボットの概念設計は「機械工作実習」の中で行われる。4回の講義時間の中の初回を「自走式ロボット設計」のガイダンスに、次の2回でグループ別にロボット設計を行い、4回目にロボット設計図面発表会を実施している。「機械工作実習」で作成した概念設計を基に15回の「ロボット創作」の中で課題をクリアするロボットを実体化していき、14回目にロボットコンテストのリハーサル、15回目にロボットコンテストの本戦を実施している。

ロボットは直流モータで駆動する。ロボットには2つのPICマイコンが搭載されており、それぞれに2チャンネル、計4チャンネルのラジオコントロール送信機からの信号を入力する。2チャンネルを前進・後退、左・右旋回に使用し、残りの2チャンネルを課題対処に使用する。ロボットには車輪が少なくとも2つ左右に付いており、両車輪の回転数や回転方向を変更して、前進・後退、左・右旋回を行う。

ロボットの構造部分のほとんどはアルミニウム合金製型材でできている。型材を適当な長さに切断し、ボルトとナットで他の型材に固定し

てロボットのフレームを形作る。課題対処に使用される直流モータからの回転は、以下の3種類の使用の他、様々に利用される。① 直接あるいはギアによる回転数の調整の後に回転力として使用される。② ベルトとプーリの組み合わせにより、ベルトコンベア形式に使用される。またこの組み合わせは、回転を少し離れた回転軸に伝達するときにも使用される。③ スライドレールとラック・アンド・ピニオンにより直線的な動きに変換される。

ロボット創作での課題は毎年少しずつ変更されるが、概ね以下の通りとなっている。① 距離約3mの区間に4つのパイロンが設置され、PICマイコンに記憶されたデータのみを使ってこの区間を自走する。② 自走区間を無事通過すると、4チャンネルのラジオコントロールが許可される。ラジオコントロールの2チャンネルは走行用に、他の2チャンネルは課題対処用を使用される。③ 指定された物体を確保し、約1.8m離れた場所までこの物体を運び、指定された場所に配置する。

課題に使用される物体の形状・寸法・重量は年ごとに異なり、これまで各種球技用ボール、木製三角柱・四角柱・円柱、塩化ビニル製円形ブロックなどが使用された。また、配置場所・配置方法も様々で、斜面に物体格納用の穴がある場合、垂直な面に穴があいている場合、水平面に物体を積み上げる場合などがある。このように、クリアすべき条件は様々であるが、① 物体の把持、② 物体の昇降および高さ調整、③ 物体の傾動および角度調整、以上3種類の機能を課題に合わせて対応させる必要がある。

以上、「ロボット創作」で設計・製作、学科内の競技会に出場するロボットについてと競技会についての概略を述べた。最後に、課題を解決するためにロボットに必要な機能をまとめた。

4.2 実施提案

4.1で述べたように、エンジニアリング・デザイン実践科目「ロボット創作」では、クリアすべき課題が最初から与えられている。設計に先立って、ここ数年間に設計・製作されたロボッ

トも受講者に提示される。この科目では、2で述べた最終案の決定までのエンジニアリング・デザインの流れの④以降が行える。④以降の流れを再び記述すれば、「④ 製品を機能的に分解する」、「⑤ 分解された各部分についてコンセプトを出し、形態学的チャートにまとめ、コンセプトを組み合わせて、いくつかのデザインコンセプトを作る」、「⑥ デザインコンセプトの候補の中から、決定マトリクスを使って最終案を決定する」となる。また、この部分は、2で述べた「機械創造」の課題の一部でもある。

エンジニアリング・デザイン実践科目において、以上の④から⑥を学生主体で行わせ、最終案を基に製品を学生に作製してもらうことが理想であろう。ところが、一連の流れを学生主体で行わせたとき、各ステップごとの少しづつのずれが、最終的にはおおきなずれを生むかもしれない。とくに、「④ 製品を機能的に分解すること」と「⑥ デザインコンセプトの候補の中から、決定マトリクスを使って最終案を決定する」ときに使用する決定マトリクスのクライテリアの選択がネックとなろう。また、講義には時間的制約もある。先に述べたように、「機械工作実習」の3回の講義時間でロボットの概念設計を、最後の1回で設計発表を行っている。④から⑥の作業を全てのグループが3回の講義時間の中で終了することは難しい。

数多くのアイデアを出しうる学生は多い。「⑤ 分解された各部分についてコンセプトを出し、形態学的チャートにまとめ、コンセプトを組み合わせて、いくつかのデザインコンセプトを作る」ことはそう時間をかけずとも可能であろう。そこで、設計・製作するロボットの形態学的チャート作成のための機能を4項目にまとめ、Table 5に示した。Table 5に示した機能ごとにアイデアを出していけば、多くのグループが体系的な考えに基づいてロボットの概念設計が可能となろう。また、体系的に物事を考えるためには、対象を機能に分解して、それぞれの機能についてアイデアを出すという方法をこの機会に体得してくれることを願っている。

次のステップである「⑥ デザインコンセプトの候補の中から、決定マトリクスを使って最終案を決定する」ことの実施時に使用する決定マトリクスのクライテリアを著者なりにまとめ、Table 6に示した。自走部分が4項目、物体確保・移動・配置部分が5項目ある。物体確保・移動・配置部分の方が自走部分に比べ重要であり、項目数の割合も適当であろう。⑤の作業も⑥の作業もこれまで頭の中であれこれ考えていたものを可視化するという側面も持つ。グループで作業するときには構成員一人ひとりに現在の状況が見える形で仕事を進めるべきことも学んでほしい。

最終案の決定までのエンジニアリング・デザインの流れの「④ 製品を機能的に分解する」以降について、エンジニアリング・デザイン実践科目「ロボット創作」で実施するときにネックになる部分を指摘し、この部分について方向性を示した。これにより、より実践的な形で形態学的チャートや決定マトリクスを使った演習が可能となる。しかしながら、これでもなおQFDの使用や仕様書の作成といった課題も残る。

Table 5 設計・製作するロボットの形態学的チャート作成のための機能

- ロボットの駆動と旋回
- 物体の把持と解放
- 物体の昇降および高さ調整
- 物体の傾動および角度調整

Table 6 決定マトリクスのクライテリア

- | |
|---|
| <p><自走部分></p> <ul style="list-style-type: none"> • 直進安定性が良い • パイロンに衝突し難い形状 • パイロンに衝突し難い経路を取りやすい車輪等の配置 • 走行の再現性が高い <p><物体確保・移動・配置部分></p> <ul style="list-style-type: none"> • 物体の把持が確実 • 複数の物体を同時に確保できる • 物体の昇降および高さ調整が確実 • 物体の傾動および角度調整が確実 • 物体の指定された場所への配置が容易 |
|---|

5. 結 言

本稿においては、最初に、合衆国で行われているエンジニアリング・デザイン科目と機械情報技術学科での「機械創造」を対比させながら、エンジニアリング・デザインの流れとこの講義の流れの中での課題を示した。次に、「機械創造」の中で実施しているいくつかの演習課題の受講者の回答の分析から、その傾向、考慮すべきあるいは改善すべき事項を示した。最後に、機械情報技術学科におけるエンジニアリング・デザイン実践科目「ロボット創作」の概念設計部分への提案を行った。

- (1) 「機械創造」は知識取得科目としてエンジニアリング・デザインの概念設計の部分を十分カバーしているが、製品設計仕様書の作成や、形態学的チャートからいくつかのデザインコンセプトを作ることなど、エンジニアリング・デザインの流れの中で実施しなければいけない課題を示した。
- (2) 受講者の回答は、比較的理解し対処しやすい顧客の要求については方向性が揃い、ハードルが高くなると多様になる傾向があるといえた。また、受講者に他人の視点で考え的確な回答を導かせることや、常にコストについて意識させることなど、今後取り組まなければいけない問題を指摘した。
- (3) 「機械創造」での受講者の回答の分析結果や合衆国学生が作成した品質の家の例から、品質の家を用いた解析の実践は、エンジニアリング・デザイン教育の中で重要ではあるが、「顧客の要求」と「工学的特性」の関係の整理のみに使用して、それを用いた次のステップへの移行は危険であろうといえた。
- (4) 多くの受講者は利用者の立場から物事を考えることはできる。制作者の立場から、かつ体系的に物事を考えるための教育がさらに必要であるといえた。
- (5) 受講者にアイデア出しの練習を行わせるときには、アイデア数を設定して行うことは有効であった。ただし、アイデアを出す作業

をグループで行わせるときには、グループごとに構成員の能力をある程度均等化する工夫が必要であることが指摘された。

- (6) 日常生活と結びつきが強い問題や専門分野に近い比較的やさしい問題では同一回答は少なかった。これに対して、これまで受講者が経験したことのない問題では同一回答が増える傾向にあった。健全に講義を運営するためには、同一回答の提出の抑止力となる方法の導入が必要といえた。
- (7) 最終案の決定までのエンジニアリング・デザインの流れの「④ 製品を機能的に分解する」以降について、エンジニアリング・デザイン実践科目「ロボット創作」で実施するときネックになる部分を指摘し、この部分について方向性を示した。

参考文献

- 1) 大中逸雄：エンジニアリング・デザイン教育の改善に向けて、「JABEE におけるエンジニアリング・デザイン教育への対応 基本方針」参考資料，(2009)，日本技術者教育認定機構。
- 2) Dieter, G. E.: Engineering Design A Materials and Processing Approach, 3rd Revised edition (2000), McGraw Hill Higher Education.
- 3) Ertas, A. and Jones J. C.: The Engineering Design Process (1993), John Wiley & Sons Inc.
- 4) N. クロス(荒木(監), 別府・高橋(訳)): エンジニアリングデザイン[製品設計のための考え方](2008), 培風館。
- 5) たとえば「The Design Process Project」 <
<http://www.eng.fsu.edu/~haik/design/>>(2011/3/16 アクセス)
- 6) 別府俊幸：日本企業におけるエンジニアリングデザインよりエンジニアリングデザイン教育を考える，第3回ワークショップ「エンジニアリング・デザインの指導法」(2009), (社)日本工学教育協会。
- 7) D. クロージング(富士ゼロックス TQD 研究会 訳): TQD—品質・速度両立の製品開発(1996), 日経 BP 社。
- 8) 蜂屋利巳, 竹山典男, 稲葉道彦: "ファクターT"で広がる環境調和型製品, 東芝レビュー, Vol. 62, No. 6 (2007), 1-7。
- 9) たとえば, 「The SACMPER Technique」

- <<http://www.adb.org/Documents/Information/Knowledge-Solutions/The-SCAMPER-Technique.pdf>>(2010/11/11 アクセス).
- 10) 機械情報技術学科, 工作技術センター(編): 八戸工業大学機械情報技術学科・ロボット創作による第 13 回ロボットコンテスト報告書 (2010), 八戸工業大学工作技術センター.
- 11) 鈴木寛: 機械情報技術学科におけるエンジニアリング・デザインの知識取得科目の実施と改善計画, 八戸工業大学紀要, Vol. 30 (2010), 91-102.
- 12) 2011 年度シラバス, 機械工作実習, 八戸工業大学ホームページ, <<http://www.hi-tech.ac.jp/zaigaku/syllabus/h23/pdf/1055153.pdf>>(2011/12/19 アクセス)
- 13) 2011 年度シラバス, ロボット創作, 八戸工業大学ホームページ, <<http://www.hi-tech.ac.jp/zaigaku/syllabus/h23/pdf/1055203.pdf>>(2011/12/19 アクセス)

要 旨

本稿においては、最初に、合衆国で行われているエンジニアリング・デザイン科目と機械情報技術学科での開講科目「機械創造」を対比させながら、エンジニアリング・デザインの流れとこの講義の流れの中での課題を示した。次に、「機械創造」の中で実施しているいくつかの演習課題の受講者の回答の分析から、その傾向、考慮すべきあるいは改善すべき事項を示した。最後に、機械情報技術学科におけるエンジニアリング・デザイン実践科目「ロボット創作」の概念設計部分への提案を行った。

キーワード: エンジニアリング・デザイン, 知識取得科目, 実践科目, 機械情報技術学科